

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 44 47 005 A 1

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 P 9/02  
G 01 C 19/58

21 Aktenzeichen: P 44 47 005.3  
22 Anmeldetag: 29. 12. 94  
43 Offenlegungstag: 4. 7. 98

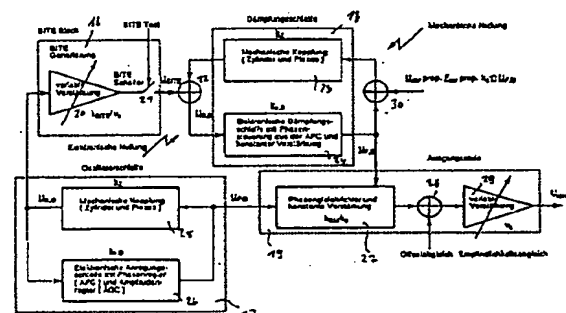
DE 44 47 005 A 1

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Pfaff, Georg, 71706 Markgröningen, DE; Erhardt,  
Rainer, Dr., 70563 Stuttgart, DE; Artzner, Johannes,  
72764 Reutlingen, DE; Bauer, Wolfram, 72074  
Tübingen, DE

64 Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate

57 Es wird ein Drehratensensor beschrieben, der nach dem Prinzip eines resonanten Schwingungsgyrometers arbeitet und mittels einer amplitudengeregelten Oszillatorschleife angeregt wird. Dieser Sensor wird beispielsweise dazu eingesetzt, die Giergeschwindigkeit eines Fahrzeuges zu ermitteln. Dabei wird der Effekt der Coriolisbeschleunigung ausgewertet, die ein Maß für die aktuelle Giergeschwindigkeit ist. Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Sensors sowie der zugehörigen Elektronik wird eine integrierte Selbsttestfunktion eingesetzt, die als sogenannte BITE-Funktion nach Betätigung eines Testeinganges eine definierte Störgröße einbringt. Diese definierte Störgröße führt zu einer abschätzbaren Ausgangsspannung, deren Auftreten zur Fehlererkennung ausgewertet wird.



DE 44 47 005 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Die Verwendung von Drehratensensoren, die beispielsweise nach dem Prinzip eines Vibrationsgyrometers arbeiten, ist im Zusammenhang mit Systemen zur Fahrdynamikregelung bei Kraftfahrzeugen bereits bekannt. Solche Sensoren werten den Effekt der Coriolisbeschleunigung aus, die als Maß für die aktuelle Giergeschwindigkeit des Fahrzeuges dient.

Die Beschreibung eines solchen Drehratensensors ist beispielsweise der US-PS 4 759 220 zu entnehmen. In dieser Druckschrift wird der typische Aufbau eines solchen Sensors sowie die zugehörige Auswerteschaltung näher erläutert. Dieser Sensor ist im wesentlichen ein dünnwandiger Hohlzylinder aus elastischem Material. Auf der Zylinderwand sind mehrere piezoelektrische Sensorelemente angebracht, wobei jeweils zwei der Sensorelemente einander gegenüberliegen. Diese Sensorelemente werden mit Hilfe einer Oszillatorschleife in konstante mechanische Antriebsschwingungen versetzt. Der Corioliseffekt bewirkt zusammen mit einer senkrecht zur Antriebsschwingung eingekoppelten Drehgeschwindigkeit eine Coriolisbeschleunigung, die eine Auslenkung der Antriebsschwingung in Coriolisrichtung zur Folge hat. Diese Auslenkung ist ein Maß für die eingekoppelte Drehrate. Die entstehende Ausgangsspannung wird mit Hilfe eines Detektorschaltkreises ermittelt und letztendlich zur Bestimmung der Drehrate herangezogen.

Der aus der US-PS 4 759 220 bekannte Sensor einschließlich der zugehörigen Auswerteschaltung hat den Nachteil, daß eine Fehlfunktion nicht ohne weiteres erkennbar ist. Wird ein solcher Sensor im Zusammenhang mit sicherheitsrelevanten Systemen in einem Kraftfahrzeug eingesetzt, ist es erforderlich, daß die Funktionsfähigkeit überprüft wird.

## Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate hat gegenüber der bekannten Lösung den Vorteil, daß eine Fehlfunktion des Sensors zuverlässig erkannt wird. Besonders vorteilhaft ist dabei, daß nur ein geringer Zusatzaufwand erforderlich ist und als Folge der sicheren Sensorüberwachung der Aufwand für redundante Sensoren deutlich reduziert werden kann.

Erzielt werden diese Vorteile, indem in die Kompensationsschleife der Auswerteschaltung ein Offsetsignal phasenrichtig eingekoppelt wird, wodurch die Kompensationsschleife verstimmt wird. Es wird dann am Ausgang des Sensors bzw. der Auswerteschaltung eine Überlagerung von Drehrate und Offset angezeigt, aus der die Funktionsfähigkeit direkt erkennbar wird.

Weitere Vorteile der Erfindung werden mit Hilfe der in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen erzielt. Dabei ist besonders vorteilhaft, daß die Aufschaltung des Offsets über die Betätigung eines Testeinganges erfolgen kann, wodurch der Sensor bei bekannter Verstimmung testbar wird. Es ist dabei ein umfangreicher Test möglich, da die Testfunktion durch die Schleifenanordnung sowohl die Auswerteelektronik als auch das Sensorelement selbst auf Fehlfunktion testet. Das Einkoppeln einer Störgröße, die einer fest eingestellten Drehrate entspricht, einer sogenannten BITE-Funktion hat den Vorteil, daß der Sensorausgang aufgrund der Störgröße vom Empfindlichkeitsabgleich unabhängig ist.

## Zeichnung

Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt dabei im einzelnen Fig. 1 eine Sensoranordnung samt Auswerteschaltung, wie sie aus der US-AS 4 759 220 bekannt ist und Fig. 2 das Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Auswerteschaltung, die eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Sensors sowie der Auswerteschaltung selbst erlaubt.

## Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Fig. 1 ist der Sensor mit 10 bezeichnet. Der Hohlzylinder 11 des Sensors 10 trägt die einzelnen Meßelemente A, A', B, B', C, C' und D, D'. Gestrichelt sind die Verformungen eingezeichnet, die der Hohlzylinder 11 aufgrund von Schwingungen einnehmen kann.

Die Meßelemente A, B, C, D sind mit den Blöcken 12, 13, 14 der Elektronik verbunden, dabei bezeichnet 12 die Oszillatorschleife (Drivekreis), die ein geeignetes Sensorelement in eine konstante mechanische Antriebsschwingung versetzt. Mit 13 ist eine Dämpfungsschaltung bezeichnet und 14 stellt den Detektorschaltkreis dar, an dessen Ausgang das Meßsignal um entsteht, das im Filter 15 noch in geeigneter Weise gefiltert wird, so daß das eigentliche Ausgangssignal  $U_{out}$  erhalten wird.

Mit der in Fig. 1 dargestellten Sensoranordnung samt Elektronik eines Drehratensensors, der nach dem Prinzip eines Vibrationsgyrometers arbeitet, kann die Giergeschwindigkeit bzw. die Gierrate eines Fahrzeuges ermittelt werden. Dabei bewirkt der Corioliseffekt zusammen mit einer senkrecht zur Antriebsschwingung eingekoppelten Drehgeschwindigkeit eine Coriolisbeschleunigung, die eine Auslenkung der Antriebsschwingung in Coriolisrichtung zur Folge hat. Diese Auslenkung ist letztendlich ein Maß für die eingekoppelte Drehrate und soll gemessen werden.

In Fig. 2 ist die Auswerteschaltung einer erfindungsgemäßen Lösung dargestellt. Bei dieser Lösung sind der

Sensor sowie die zugehörige Elektronik miteinander verkoppelt. Im wesentlichen umfaßt die dargestellte Anordnung vier Blöcke. Der erste Block 16 ist der sogenannte BITE-Block, die Oszillatorschleife ist mit 17 bezeichnet, die Dämpfungsschleife mit 18 und die Ausgangsstufe trägt das Bezugszeichen 19.

Die in der Fig. 2 enthaltenen Blöcke 16 bis 19 sind ihrerseits in weitere Blöcke unterteilt. Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Blöcken sind durch entsprechende Verbindungslinien, gegebenenfalls unter Angabe der Wirkungsrichtung durch entsprechende Pfeile gekennzeichnet. Im einzelnen umfaßt der BITE-Block 16 einen Verstärker 20 mit variabler Verstärkung, in dem die BITE-Funktion generiert wird. Diese Funktion wird symbolisiert durch den Ausdruck  $k_{BITE}/v_s$ . Sie wird über den BITE-Schalter 21 als BITE-Störgröße  $U_{BITE}$  bei Auslösen eines Tests BITE-Test an den Punkt 22 weitergegeben.

Dieser Punkt 22 steht mit den Blöcken 23, 24 der Dämpfungsschleife 18 in Verbindung. Der Block 23 bezeichnet die mechanische Kopplung (des Zylinders und der Meßelemente, also beispielsweise der Piezo-Elemente). Die Übertragungsfunktion des Sensorelementes ist mit  $k_z$  bezeichnet.

Der Block 24 stellt eine elektronische Dämpfungsschleife mit Phasensteuerung aus der AFC und konstanter Verstärkung dar. Die zugehörige Übertragungsfunktion der elektronischen Dämpfungsschleife ist mit  $k_{e,D}$  bezeichnet. Im Punkt 22 findet im übrigen die elektrische Nullpunkteinstellung statt. Die am Punkt 22 anstehende Spannung ist mit  $U_{S,D}$  bezeichnet.

Von der Oszillatorschleife 17 sind zwei Blöcke 25, 26 dargestellt, die miteinander wechselwirken. Der Block 25 bezeichnet wiederum die mechanische Kopplung zwischen Zylinder und Piezoelementen. Die Übertragungsfunktion des Sensorelementes ist  $k_z$ . Die Spannung ist mit  $U_{S,O}$  bezeichnet. Es ist dies die Spannung der Oszillatorschleife, also die Spannung der Anregung des Systems.

Block 26 bezeichnet die elektronische Anregungsschleife mit Phasenregler (AFC) und Amplitudenregler (AGC). Die zugehörige Übertragungsfunktion der Oszillatorschleife ist mit  $k_{e,O}$  bezeichnet.

Am Verbindungspunkt zwischen den Blöcken 25 und 26 liegt die Antriebsspannung bzw. Force- oder Drive-spannung  $U_{F,O}$ , die dem Block 27 zur Phasengleichrichtung und konstanten Verstärkung der Ausgangsstufe 19 zugeführt wird. Block 27 erhält weiterhin die Spannung  $U_{F,D}$  aus der Dämpfungsschleife 18. Die Übertragungsfunktion des Blocks 27 ist mit  $k_{BM} \cdot k_O$  bezeichnet. Am Ausgang des Blocks 27 ist ein Punkt 28 eingetragen, an dem der Offsetabgleich stattfindet. An den Punkt 28 schließt sich ein Verstärker 29 mit variabler Verstärkung an, die Verstärkung ist mit  $v_s$  bezeichnet. Am Ausgang des Verstärkers 29 ist die Drehratenausgangsspannung  $U_{rate}$  abgreifbar, die ein Maß für die tatsächlich vorhandene Drehrate ist.

Die mechanische Nullpunkteinstellung erfolgt an Punkt 30. Zu dieser Nullpunkteinstellung wird eine Spannung  $U_{cor}$  als elektrisches Äquivalent des Corioliseffektes eingespeist.

Mit der in Fig. 2 als Blockschaltbild angegebenen Anordnung läßt sich der Drehratensensor auswerten und gleichzeitig eine Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktionsfähigkeit des Sensors und der Auswerteschaltung selbst realisieren.

Wird durch die amplitudengeregelte Oszillatorschleife ein geeignetes Sensorelement in eine konstante mechanische Antriebsschwingung versetzt, dann bewirkt der Corioliseffekt zusammen mit einer senkrecht zur Antriebsschwingung eingekoppelten Drehschwingung eine Coriolisbeschleunigung, die eine Auslenkung der Antriebsschwingung in Coriolisrichtung zur Folge hat. Es wird durch diese Effekte der Hohlzylinder, auf dem die als Meßelemente dienenden Piezoelemente angeordnet sind zusätzlich in Schwingungen versetzt. Der Hohlzylinder schwankt daher zwischen den in Fig. 1 gestrichelt eingezeichneten Grenzen.

Wird zur Auswertung der Auslenkung, die wie bereits erwähnt ein Maß für die eingekoppelte Drehrate ist, eine Kompensationsschleife verwendet, beispielsweise eine Servo-Loop, dann ist die resultierende Stellgröße ein Maß für die zu messende Drehrate. Wird diese Kompensationsschleife mit einem phasenrichtig eingekoppelten Offsetsignal verstimmt, wird der Ausgang des Sensors die Überlagerung von Drehrate und Offset anzeigen. Erzeugt wird dieser Offset im BITE-Block. Die Aufschaltung des Offsets kann beispielsweise über die Betätigung des BITE-Schalters 21 erfolgen, es wird dann der Sensor bei bekannter Verstimmung testbar. Da die Testfunktion durch die Schleifenanordnung sowohl die Auswerteelektronik als auch das Sensorelement betrifft, können beide auf Fehlfunktion getestet werden.

Die Ableitung der am Ausgang des Sensors entstehenden Spannung  $U_{rate}$  bei aktivierter BITE-Funktion kann anhand der folgenden Überlegungen für ein Vibrationsgyrometer mit amplitudengeregelter Oszillatorschleife, bei dem ein Sensorelement in eine konstante mechanische Antriebsschwingung versetzt wird, erfolgen. Diese Antriebsschwingung weist die Geschwindigkeit  $v_O$  auf, sie ist proportional zur Antriebsspannung der Oszillatorschleife  $U_{F,O}$ .

Für die Oszillatorschleife gilt:

$$\begin{aligned} k_z \cdot k_{e,O} &= 1 \\ |k_z| \cdot |k_{e,O}| &= 1 \\ \arccos(k_z) + \arccos(k_{e,O}) &= 0^\circ \\ |U_{F,O}| &= \text{const (AGC-Funktion)} \\ v_O &\sim U_{F,O} \\ v_O &= \text{const} \\ \arccos(v_O) &= \arccos(U_{F,O}) \\ U_{S,O} &= k_z \cdot U_{F,O} \end{aligned}$$

Das Masseelement, das sich in einer amplitudengeregelten Antriebsschwingung befindetet, erfährt aufgrund einer Drehrate  $\Omega$  eine Auslenkung in Coriolisrichtung ( $F_c = 2m v_O \times \Omega$ ). Die Kompensationskraft bzw. Kompensationsspannung (Stellgröße  $U_{T,D}$ ), die der Corioliskraft entgegenwirkt (Führungsregelung), ist ein Maß für die vorhandene Drehrate. Das Erfassen der Coriolisspannung  $U_{S,D}$  und der Aufbau der Gegenspannung  $U_{F,D}$

erfolgt in einer Kompensationsschleife (Dämpfungsschleife).

Die beiden Schleifen sind über das Sensorelement gekoppelt und arbeiten in dem beschriebenen Fall resonant (d. h. Übertragungsfunktion  $k_Z$  für Oszillator- und Dämpfungsschleife ist gleich).

Für die Dämpfungsschleife gilt:

5

$$|k_Z| \cdot |k_{e,D}| \gg 1$$

$$\arccos(k_Z) + \arccos(k_{e,D}) \approx -180^\circ$$

10

$$U_{\text{cor}} = k_c \cdot \Omega \cdot U_{F,O}$$

$$k_Z \cdot k_{e,D}$$

$$U_{F,D}(\Omega) \frac{k_Z \cdot k_{e,D}}{-1 - k_Z \cdot k_{e,D}} \cdot U_{\text{cor}} \approx -U_{\text{cor}} = -k_c \cdot \Omega \cdot U_{F,O}$$

15

Die Führungsregelung der Dämpfungsschleife funktioniert in gleicher Weise auch für eingekoppelte Störsignale BITE (Built in test, mit entsprechender Frequenz, Phasenlage) Durch das Einkoppeln einer Störgröße U<sub>BITE</sub> kann somit eine Drehrate simuliert werden. Das Einkoppeln erfolgt aus der Oszillatorschleife, was zusätzlich den Vorteil des Oszillatortests mit sich bringt.

20

Das Störsignal soll einer fest eingestellten Drehrate entsprechen, unabhängig von der am Bandende notwendigen Empfindlichkeitskorrektur des Komplettsensors. Dies wurde durch zwei Verstärkerstufen (eine in der BITE/Dämpfungs- und eine in der Ausgangsschleife) mit reziproker Verstärkung realisiert. Dies hat zur Folge, daß der Sensorausgang aufgrund der Störgröße U<sub>rate</sub>(BITE) vom Empfindlichkeitsabgleich  $v_S$  unabhängig ist.

25

Für BITE-Anordnung gilt:

30

$$U_{BITE} = \frac{k_{BITE}}{v_S} \cdot U_{S,O} = \frac{k_{BITE}}{v_S} \cdot k_Z \cdot U_{F,O}$$

$$U_{F,D}(BITE) = \frac{k_{e,D}}{1 - k_Z \cdot k_{e,D}} \cdot U_{BITE} = -U_{BITE} \cdot \frac{1}{k_Z}$$

35

$$U_{F,D}(BITE) = -\frac{k_{BITE}}{v_S} \cdot U_{F,O}$$

40

Der Ausgang des Sensors U<sub>rate</sub> zeigt bei aktiviertem BITE die Summe (Überlagerung) der aktuellen Drehrate  $\Omega$  und der simulierten Drehrate, aufgrund der eingespeisten Störgröße.

$$U_{F,D} = U_{F,D}(BITE) + U_{F,D}(\Omega)$$

45

$$U_{F,D} = -\left(\frac{k_{BITE}}{v_S} + k_c \cdot \Omega\right) \cdot U_{F,O}$$

$$U_{rate} = (k_{BM} \cdot k_0 \cdot |U_{F,D}| \cdot \cos(\arccos(U_{F,D} \cdot U_{F,O})) + U_{off}) \cdot v_S$$

50

$$U_{rate} = \left(-\left(\frac{k_{BITE}}{v_S} + k_c \cdot \Omega\right) \cdot (|U_{F,O}| \cdot k_{BM} \cdot k_0) + U_{off}\right) \cdot v_S$$

55

$$U_{rate}(BITE) = -k_{BM} \cdot k_0 \cdot k_{BITE} \cdot |U_{F,O}| \neq f(v_S)$$

Das Aktivieren der Störgröße erfolgt durch Betätigung eines Testeinganges, wodurch der Sensor bei bekannter Verstimmung U<sub>rate</sub>(BITE) testbar wird. Durch diesen Test ist sowohl die komplette Antriebs-, Dämpfungs-, Ausgangselektronik als auch das Sensorelement mit seinen Anschlüssen auf Fehlfunktionen prüfbar.

60

Zusammenfassung der Abkürzungen:

$k_Z$  = : Übertragungsfunktion des Sensorelements

$k_{e,XX}$  = : Übertragungsfunktion der Elektronik

$U_{S,XX}$  = : Abgriffspannung

65

$U_{F,XX}$  = : Antriebsspannung  $XX = O$  =: Oszillatorschleife (Anregung)  $XX = D$  =: Dämpfungsschleife (Kompensation)

$v_O$  = : Geschwindigkeit des Masseelements in Antriebsrichtung

$\Omega$  = : Drehrate

$U_{cor}$  = : elektrisches Äquivalent des Corioliseffekts

$k_c$  = : Corioliskonstante

$U_{BITE}$  = : BITE-Störgröße

$k_{BITE}$  = : BITE-Skalierungsfaktor

$k_{BM}$  = : Verstärkung des Balanced Modulator

$k_O$  = : Konstante Verstärkung Ausgangsstufe

$v_s$  = : variable Verstärkung der Ausgangsstufe (Empfindlichkeitsabgleich am Bandende)

$U_{off}$  = : Kompensationsspannung der Null-Drehrate (Offsetabgleich am Bandende)

$U_{rate}$  = : Drehratenausgangsspannung.

5

#### Patentansprüche

10

1. Vorrichtung zur Ermittlung einer Drehrate mit einem Sensor, der mehrere Sensorelemente aufweist, die auf einem schwingungsfähigen Körper angeordnet sind, mit einer geregelten Oszillatorschleife, die wenigstens eines der Sensorelemente in konstante Schwingung versetzt, wodurch auch der schwingungsfähige Körper angeregt wird, mit einer Dämpfungsstufe, die mit wenigstens einem Sensorelement in Verbindung steht und einer Ausgangsstufe, die mit wenigstens einem weiteren Sensorelement in Verbindung steht und eine Ausgangsspannung abgibt, die ein Maß für die zu ermittelnde Drehrate ist, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zur Erkennung einer Fehlfunktion zuschaltbar sind, die durch Erzeugung eines Offsetsignales eine vorgebbare Verstimmung der Vorrichtung auslösen und zur einer Ausgangsspannung führen, die eine Überlagerung aus Drehrate und Offset ist und zur Fehlererkennung ausgewertet wird. 15
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der schwingungsfähige Körper zylinderförmig ist und auf einer Seite frei schwingend und auf der anderen Seite fest ist und die Sensorelemente in einer Spur gleichförmig auf der Zylinderoberfläche angeordnet sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung eines Offsetsignales in der Sensorelektronik integriert sind und einen BITE-Block (16) umfassen, mit einem Verstärker (20) mit variabler Verstärkung sowie einem Schalter (21), über den das Offsetsignal weiterleitbar ist. 25
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Eingang des Verstärkers (20) des BITE-Blockes (16) mit der Oszillatorschleife (17) in Verbindung steht, daß über diese Verbindung die am Eingang der Oszillatorschleife liegende Spannung ( $U_{s,O}$ ) zugeführt wird, daß der BITE-Block (16) mit der Dämpfungsschleife (18) in Verbindung steht und über diese Verbindung die Offsetspannung ( $U_{BITE}$ ) der Dämpfungsschleife (18) zugeführt wird. 30
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Punkte (22, 28, 30) vorhanden sind, an denen eine elektronische Nullpunkteinstellung, eine mechanische Nullpunkteinstellung sowie ein Offsetabgleich durchführbar sind. 35
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oszillatorschleife (17) eine elektronische Anregungsschleife (26) mit Phasenregler und Amplitudenregler umfaßt.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Dämpfungsschleife (18) eine elektronische Dämpfungsschleife mit Phasensteuerung aus dem Phasenregler (AFC) und konstanter Verstärkung ist. 40
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Eingang der Ausgangsstufe (19) ein Block (27) mit Phasengleichrichter und konstanter Verstärkung liegt, der mit einer Oszillatorschleife (17) und der Dämpfungsschleife (18) in Verbindung steht, wobei über diese Verbindungen die Spannungen ( $U_{F,O}$ ) und ( $U_{F,D}$ ) zugeführt werden, daß der Block (27) über dem Punkt (28) zum Offsetabgleich mit einem Verstärker (29) mit variabler Verstärkung in Verbindung steht, über den ein Empfindlichkeitsabgleich möglich ist und an dessen Ausgang die auszuwertende Spannung ( $U_{rate}$ ) abgreifbar ist. 45

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

- Leerseite -

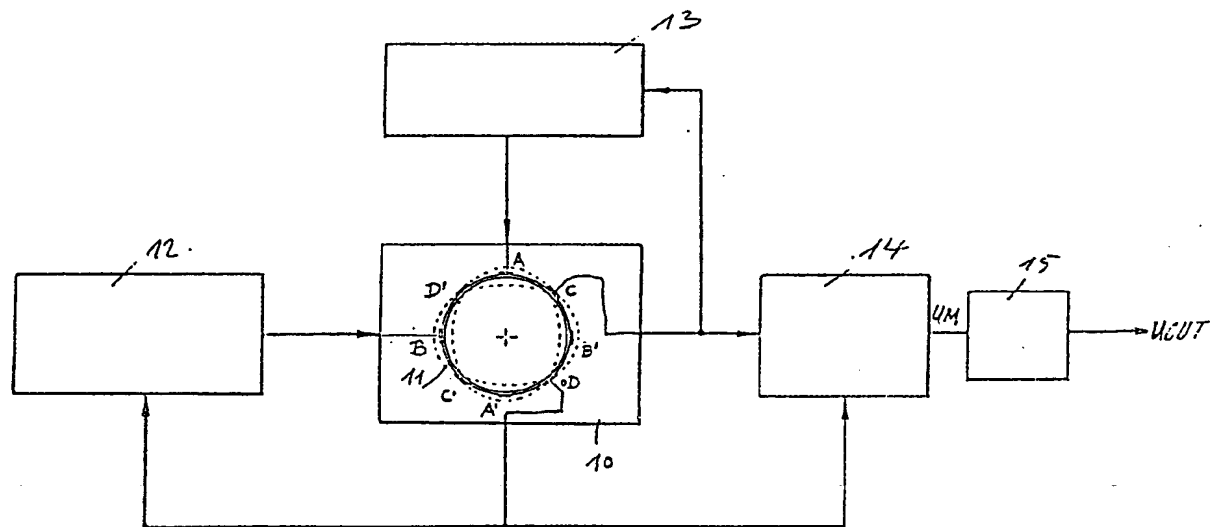


Fig 1

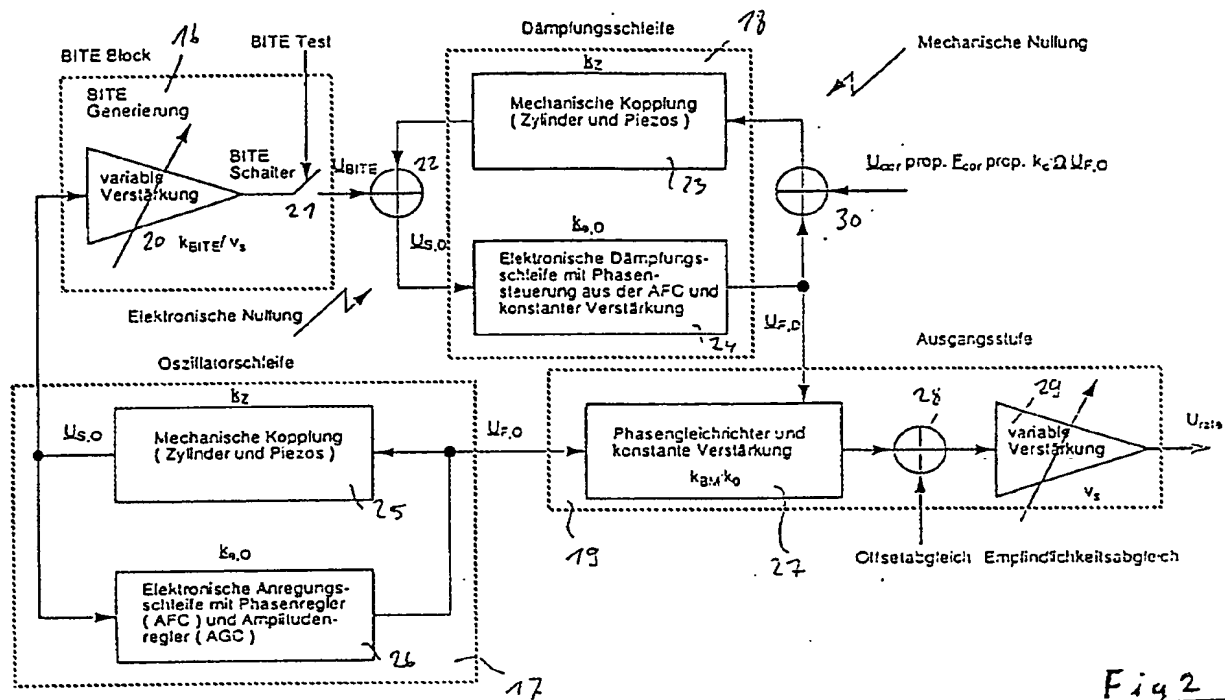


Fig 2